

УДК 621.941.277.025.77

DOI 10.21661/r-561304

*Дин Кай Цзянь*

канд. техн. наук, профессор

Технологический университет Китая

Китайская Народная Республика

**ПОСТРОЕНИЕ КОНЕЧНО–ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ АЛМАЗНОГО  
СВЕРЛА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ АЛМАЗНОГО СВЕРЛЕНИЯ ТОЧНЫХ  
ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ХРУПКИХ ТВЕРДЫХ  
НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

*Аннотация:* статья описывает проделанную работу, направленную на повышение точности получаемых отверстий в деталях из хрупких твердых неметаллических материалов в процессе сверления их алмазным сверлом.

*Ключевые слова:* построение, конечно-элементная деталь, алмазное сверло.

*Ding Kai Jian*

candidate of Technical Sciences, professor

China University of Technology

People's Republic of China

**CONSTRUCTION OF A CERTAINLY–ELEMENT PATTERN  
OF A DIAMOND DRILL FOR A RESOLVING OF A PROBLEM  
OF DIAMOND DRILLING MINUTE CANALS IN DETAILS  
FROM FRAGILE RIGID NONMETALLIC STUFFS**

**Abstract:** *given clause describes the done job routed on a raise of accuracy of got canals, in details from fragile rigid nonmetallic stuffs, during drilling by their diamond drill.*

**Keywords:** *construction, certainly–element pattern, diamond drill.*

Освоение в КНР промышленного производства синтетических алмазов позволило в широких масштабах применять высокоэффективные алмазные инструменты при обработке труднообрабатываемых материалов на различных операциях, в том числе на операции сверления отверстий.

Работающее алмазное сверло можно представить как круг, вышлифовывающий отверстие своей торцовой поверхностью. Поэтому в отличие от обычных металлорежущих сверл, в конструкции которых предусмотрены глубокие пазы для вывода стружки, рациональной конструкцией алмазного инструмента для сверления неметаллических материалов является тонкостенное кольцо.

Алмазные сверла имеют множество применений в быту, электротехнической, радиоэлектронной, оптико–механической и часовой промышленности, в производстве очковых линз, ювелирном ремесле, скульптурных, реставрационных, строительно–монтажных и отделочных работах, в инструментальном и основном механическом производствах.

В данной работе предложена математическая и конечно–элементная модель контакта двух соприкасающихся тел «сверло–деталь». Также были рассмотрены процессы взаимодействия алмазного сверла с обрабатываемой деталью, износ сверла и разрушение материала детали как единая, взаимосвязанная система, объединенная понятием механизм алмазного сверления.

Механизм алмазного сверления – система взаимосвязанных физических процессов, одновременно протекающих в алмазном инструменте, материале детали и межконтактном пространстве пары «сверло–деталь», при силовом взаимодействии вращающегося алмазного сверла с обрабатываемой деталью. Контактирующие поверхности соприкасающихся тел смоделированы с учетом реального профиля.

Конечно–элементная модель основывается на использовании единого представления микро и макроструктуры. Такая модель пригодна для деталей, размеры которых соизмеримы с параметрами микронеровностей. Иначе возникает задача большой размерности.

Модель такого типа позволяет уменьшить порядок размещающей системы уравнений. Она использует представление, при котором собственные деформации тел, определяемые макроструктурой, описываются методом конечных элементов (МКЭ). Контактная жесткость микроструктуры учитываются односторонними стержневыми связями. Жесткость связей приравнивается податливости микрорельефа контактируемых поверхностей, найденной также с учетом стохастического характера микроструктуры.

При подстановке размеров в расчетную схему собственная деформация реальных тел приравнивается к деформации идеальных тел, параметры которых определяются номинальными размерами, а влияние макрорельефа учитывается односторонними упругими связями, между которыми устанавливаются зазоры, определяемые микрогеометрией и волнистостью. В этой модели параметры детали, макроструктуру, представляются детерминированными, а зазоры и

жесткость микрорельефа случайными величинами, поэтому при каждой имитации контакта глобальная матрица остается неизменной, а переформируются матрицы совместности деформации и матрицы контактных нагрузок.

Моделирование процесса контактирования двух технических поверхностей осуществляется наложением связи между телами, описываемой кинематическими условиями контакта или стержнями. После приложения сжимающей нагрузки возникает упруго пластическая деформация тел, и контакт распространяется на ближайшие области. Области контакта и упругопластические перемещение узлов определяют с помощью МКЭ.

Таким образом, при составлении расчетной схемы конструкция разбивается на  $N_e$  элементов и  $N_f$  узлов (рис.1). в пределах каждого элемента упругие характеристики (модуль упругости  $E$  и коэффициент Пуассона  $\mu$ ) принимают постоянными.

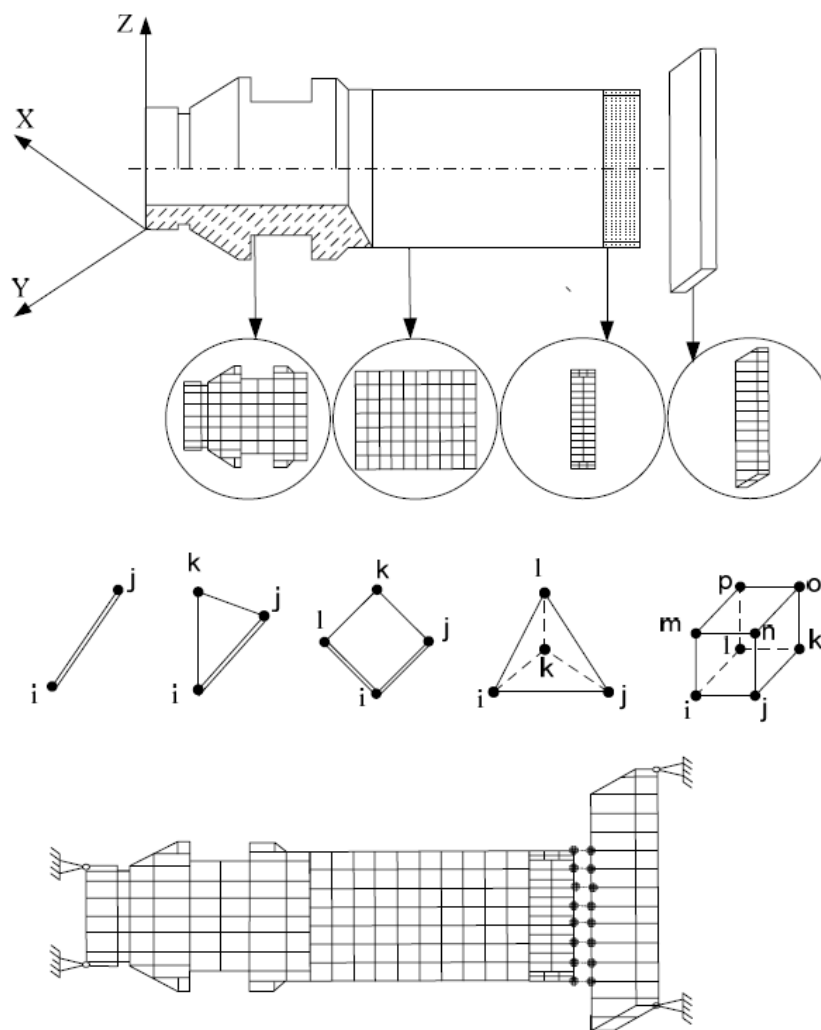


Рис. 1. Разбиение расчетной конструкции на конечные элементы

При вводе данных в программу нужно ввести атрибуты элемента.

1. *Собственная размерность*. Конечные элементы могут описываться одной, двумя или тремя пространственными координатами в зависимости от размерности задачи, для решения которой они предназначены. Соответствующее число внутренних или локальных координат называется собственной размерностью элемента. В динамическом анализе время рассматривается как дополнительная размерность.

2. *Узловые точки.* Каждый элемент описывается множеством характерных точек, называемых узловыми точками или узлами для краткости. Узлы предназначены для описания геометрии элемента и для задания физических степеней свободы (числа неизвестных функций). Узлы обычно находятся в угловых или крайних точках элемента, но могут быть также расположены между угловыми узлами и внутри элемента. Данное различие связано с порядком аппроксимации, который обеспечивает данный конечный элемент. Элементы, имеющие только угловые узлы, называются линейными и обеспечивают линейную интерполяцию геометрии и функций. Элементы, имеющие только угловые узлы, называются линейными и обеспечивают линейную интерполяцию геометрии и функций. Элементы, имеющие дополнительные узлы на своих границах между угловыми точками, могут обеспечивать квадратичную или даже кубическую интерполяцию.

3. *Геометрия элемента.* Геометрия элемента определяется расположением узловых точек. Большинство элементов, используемых в расчетах, имеют достаточно простую геометрическую форму. Например, в одномерном случае элементы обычно представляют собой прямолинейные отрезки или сегменты кривых линий; в двумерном случае элементы имеют трехстороннюю или четырехстороннюю форму; в трехмерных задачах наиболее распространены такие геометрические фигуры, как тетраэдры, призмы и гексаэдры. В данной работе была рассмотрена трехмерная задача.

4. *Степени свободы.* Степени свободы определяют физическое состояние элемента, то есть физическое поле, которое описывает данный элемент. Бла-

годаря общим степеням свободы в соседних элементах осуществляется сборка модели и формирование глобальной системы конечно – элементных осуществляется сборка модели и формирование глобальной системы конечно – неизвестной функции, так и ее производные по пространственным координатам в узлах. В первом случае элементы относятся к типу лагранжевых элементов; во втором случае – типу эрмитовых элементов.

5. *Узловые силы.* Система узловых сил полностью соответствует степеням свободы элемента и выражается с помощью глобального вектора узловых сил.

6. *Определяющие соотношения.* Для конечных элементов, используемых в механических расчетах, определяющее соотношение задает поведение материала, из которого изготовлена конструкция. В качестве такого соотношения используется обобщенный закон Гука, связывающий тензор деформаций и тензор напряжений в точке. Для линейного упругого стержневого элемента достаточно задать один модуль Юнга  $E$  и один коэффициент температурного расширения.

7. *Свойства сечения.* К свойствам сечения относятся площади и моменты инерции одномерных и двумерных конечных элементов, таких как балки, стержни, пластины. В эту группу также входит толщина пластин и оболочек. При построении конечного элемента свойства сечения считаются заданными и входят в результирующую матрицу жесткости элемента.

8. *Составление расчетной схемы.* Вычерчивается в масштабе схема конструкции. Задаётся глобальная система координат таким образом, чтобы все координаты узлов были положительны. Конструкция разбивается на конечные элементы типа «кирпич», «тетраэдр», «прямоугольная оболочка» и «контактный

стержень», после чего производится нумерация узлов и элементов (рис. 2).

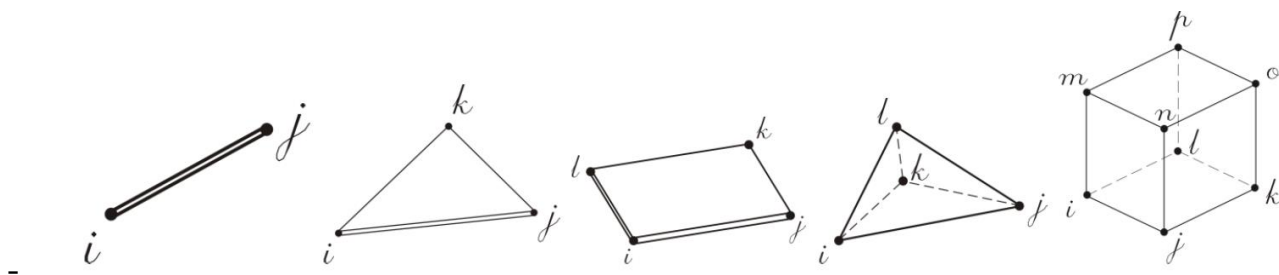


Рис. 2. Порядок нумерации узлов конечных элементов

9. После запуска приложения создается новый файл исходных данных, в появившееся окно заносятся необходимые данные несколькими блоками (между блоками для удобства визуального контроля необходимо вставлять разделительную строку, причем допускается заполнять её комментариями).

10. Формируется массив упругих характеристик конечных элементов размерностью  $N_E \times 3$ , в который заносятся последовательно модуль упругости  $E$ , коэффициент Пуассона  $\nu$  и толщина элемента (только для элементов типа «пластина» и «оболочка»). Номер строки массива соответствует номеру элемента.

11. Формируется столбец, в который заносятся номера нагруженных узлов.

12. Выбирая команду меню «Расчеты → Контактное взаимодействие» на панели инструментов, пользователь запускает на выполнение программу расчета контактного взаимодействия.

При расчете алмазных сверл были найдены перемещения узлов рабочей поверхности и рассчитаны напряжения в узлах при сверлении изделий из стекла, что позволило получить данные позволяющие провести анализ сверления и выявить особенности алмазного сверления. Также с помощью предложенной



модели можно объяснить эффект несоответствия номинальными размерами сверла и полученными размерами изготовленного отверстия.

### ***Список литературы***

1. Соломенцев Ю.М. Неточное моделирование / Ю.М. Соломенцев, В.Г. Митрофанов // Информационные технологии в промышленности: сборник научных трудов МГТУ «Станкин». Вып. 1. – М.: Янус-К, 2002. – С. 268.
2. Косов М.Г. Моделирование точности при автоматизированном проектировании и эксплуатации металлорежущего оборудования / М.Г. Косов. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 405.
3. Балыков А.В. Алмазное сверление отверстий в деталях из хрупких неметаллических материалов / А.В. Балыков. – М.: Наука и технология, 2003. – С. 187. – EDN QNAQDV
4. Рыжов Э.В. Контактная жесткость деталей машин / Э.В. Рыжов. – М.: Машиностроение, 1966. – С. 192.